

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **06147226 A**

(43) Date of publication of application: **27 . 05 . 94**

(51) Int. Cl

F16C 32/06
F16C 17/03
F16C 27/00

(21) Application number: **04322419**

(22) Date of filing: **07 . 11 . 92**

(71) Applicant: **TOYOTA CENTRAL RES & DEV
LAB INC AISIN SEIKI CO LTD**

(72) Inventor: **INAGAKI MIZUHO
YOSHIKAWA KAZUO
MITA HIDEO
ISHIDA YUKIO**

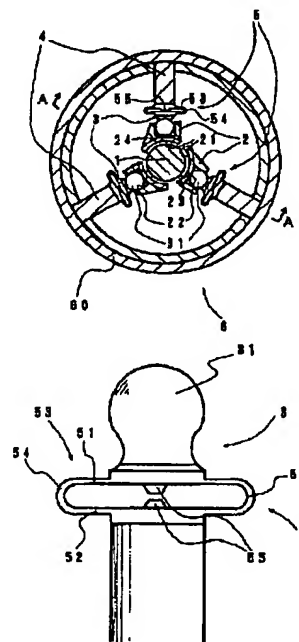
(54) **AIR BEARING**

(57) Abstract:

PURPOSE: To perform stable support up to a high speed area by preventing generation of amplitude increasing phenomenon after passing dangerous speed area which may occur in the case that a mass of a rotor is large compared to a scale and capacity of a bearing.

CONSTITUTION: Three pads 2 are arranged on an outer periphery on both ends of a rotary shaft 1, each had having a circular asymmetrical bearing surface 21 on its inner side and a pivot receiving part 22 supported at three portions on its outer side. Three pivots 3 have spherical parts 31 inserted into the pivot receiving parts 22 of the pads 2. Three columnar stems 4 are projected inward from an inner peripheral surface of a housing 6 of a circular member 60. A linear portion 53 has one side part 51 integrated with the pivot 3 and the other part 52 integrated with the stem 4 opposed to each other. A circular part 54 connects both ends of the linear part 53. A stopper part 55 is formed on an opposed inner wall of the linear part 53. Thus, a spring member 5 like glasses is formed.

COPYRIGHT: (C)1994,JPO&Japio



(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-147226

(43)公開日 平成6年(1994)5月27日

(51)Int.Cl.⁵

F16C 32/06
17/03
27/00

識別記号

Z 8613-3J
8613-3J
B

庁内整理番号

FI

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数2(全8頁)

(21)出願番号 特願平4-322419

(22)出願日 平成4年(1992)11月7日

特許法第30条第1項適用申請有り 平成4年9月25日
社団法人日本機械学会発行の「第70期全国大会講演論文
集Vol. E」に発表

(71)出願人 000003609

株式会社豊田中央研究所
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番
地の1

(71)出願人 000000011

アイシン精機株式会社
愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地

(72)発明者 稲垣 瑞穂

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(74)代理人 弁理士 ▲高▼橋 克彦

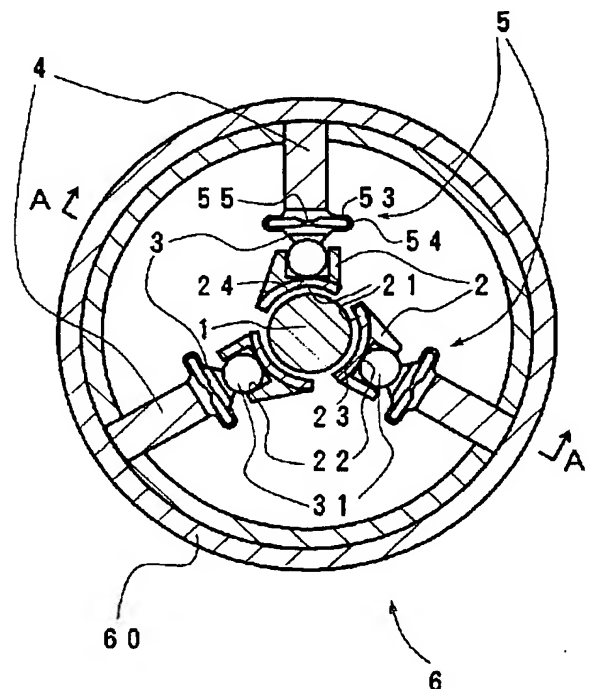
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 空気軸受

(57)【要約】

【目的】 軸受の規模および容量に対してロータの質量
が大きい場合に発生する危険速度通過以降の振幅増大現
象を防止し、高速域まで安定に支えること。

【構成】 内側に円弧状の非対称の軸受面21を有する
とともに外側に3箇所支持するピボット受部22を有
し、回転軸1の両端の外周に配設された3個のパッド2
と、パッド2のピボット受部22に介挿される球状部3
1を先端に有する3個のピボット3と、環状部材60の
ハウジング6の内周面から内方に突出形成された3個の
円柱状のステム4と、ピボット3と一体に形成された一
方の部分51とステム4と一体に形成された他方の部分
52とが互いに対向して形成された直線部53と、直線
部53の両端を接続する円弧部54と、直線部53の対
向内壁に形成されたストップ部55とから成るメガネ状
板バネ部材5とから成る空気軸受。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 内側に円弧状の軸受面を有するとともに外側にピボット受部を有し回転軸の周囲に配設された複数のパッドと、

パッドのピボット受部に介挿される複数のピボットと、ハウジングに一体的に形成された複数のステムと、複数のピボットと複数のステムとの間に介挿された複数のバネ部材とから成ることを特徴とする空気軸受。

【請求項2】 請求項1において、前記バネ部材を介挿したステムの剛性を、空気軸受の空気ばねの剛性の10分の1から10倍の範囲内に設定したことを特徴とする空気軸受。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、回転軸を複数のパッドにより非接触状態で回転可能に支承する空気軸受に関する。

【0002】

【従来の技術】 ロータを支持する空気軸受において、ロータの不釣り合いによって回転に同期する振れ回り（ホワール）が発生する。この振れ回りは、図4（a）に示すようにその速度がロータ、軸受系の危険速度（固有振動数）と共鳴した時に大きな振幅となり、軸受がかじり損傷などを起こす。そこで一般に空気軸受を使う場合には、低速域にある並進ホワールや円錐ホワールなどの剛体危険速度を越して振れ回りが小さくなった安定領域 ω_p で運転される。

【0003】 第1の従来の空気軸受（特開昭56-116918）は、図8に示すように内周に軸受面を有し、外周にピボット受部を有する複数のパッドPが回転軸Rの周囲に配設され、パッドPのピボット受部に当接させて複数のピボットPBが配設され、ピボットPBと一体に形成された複数のステムSTはハウジングHに固着され、そのうちの1個のステムST1は、片持梁を構成する弾性板状部Aを介して弾性的にハウジングHに固着される。

【0004】 上記第1の従来の空気軸受は、1個のステムST1を弾性的にハウジングHに支持することにより、パッドと回転軸のクリアランスすなわち空気厚さを一定にする自動調心をすることができる。

【0005】 第2の従来の空気軸受（実開昭57-145816号）は、図9および図10に示すように、内周に軸受面を有し外周にピボット受部を有する複数のパッドPが回転軸Rの周囲に配設され、パッドPのピボット受部とリング状スリーブSとの間に複数のステムSTが配設され、そのうち1つのPB1はバネBにより付勢され、リング状スリーブSとハウジングHとオリングOとの間に粘性流体Fを封入し、リング状スリーブSを弾性的に支持するものである。

【0006】 上記構成の第2の従来の空気軸受は、リン

グ状スリーブSを支持するオリングOと粘性流体によって、第1の従来空気軸受より一層有効に危険速度領域（図4（a）中Aの範囲）での振れ回り振幅を抑制することができる。

【0007】 すなわち、第2の従来の空気軸受は、リング状スリーブSの質量を大きくして、スリーブS、オリングO系の固有振動数 ω_1 （図4（a）中図示）を危険速度領域Aよりも低速側に設定することにより、領域AにおけるスリーブS、オリングO系の減衰能力を高めている。その結果、不釣り合いによって発生するロータの振動エネルギーがオリングOと粘性流体Fで吸収され、領域Aの共振振幅が抑えられる。

【0008】 また危険速度領域Aを越して更にロータの回転数を増すと、ロータの回転数が危険速度Aの2倍付近（図4（a）中領域B）で、空気膜の動圧効果によってロータの自励振動（図4（a）中一点鎖線で示す）が発生するが、第2の従来の空気軸受は、オリングOの減衰作用によって自励振動の発生を防止するものである。第2の従来の空気軸受は、スリーブおよびオリング系の固有振動数 ω_1 が領域Bに対して充分低く設定してあるので、スリーブおよびオリング系の減衰能力を高め、上記自励振動が発生しても、その振動エネルギーはオリングOで吸収され、振動が抑制される。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】 上記第2の従来の空気軸受は、その規模および容量に対して、ロータの質量が大きくなると、図4（a）に示す危険速度 ω_a を越しても振幅が増大し続けるという問題があった。

【0010】 すなわち第2の従来空気軸受においては、上述したようにリング状スリーブSの重量を大きくすることによってスリーブおよびオリング系の固有振動数 ω_1 を低く設定してあるので、 ω_1 を越えた危険速度 ω_a 付近では、リング状スリーブSはほとんど振動しなくなる。

【0011】 一方パッドの質量はリング状スリーブの質量より小さく、ステムSTの剛性はオリングOの剛性よりも大きいので、パッドPおよびステムSTの固有振動数 ω_2 はロータの危険速度 ω_a よりも高くなる。その結果、危険速度 ω_a 付近でもパッドPおよびステムSTは、ロータの慣性力Fに追従し、ステムSTがロータの慣性力を受けて弾性変形する。この場合、ステムSTの弾性変形によって生ずる復元力によって、ロータの振れ回り慣性力が増し、軸受のばね剛性は振幅の増加に伴って空気ばね剛性からステムSTの剛性で上がることになる。

【0012】 軸受のばね剛性が振幅によらず一定であれば、振幅が増加しても図4（a）に示すロータおよび軸受系の危険速度 ω_a は変化しないので、回転数が上がっても危険速度 ω_a を通過することができる。

【0013】 しかし軸受が図11の破線で示すようなハ

3

ードスプリング型の非線形ばね特性を有すると、振幅の増加とともに軸受ばね剛性が増加するので、危険速度 ω_c から図4(a)の ω_c まで高くなる。従って、回転数があがっても、危険速度 ω_c は通過できず、振幅は図4(a)中実線で示すように ω_c まで増加し続けることになる。

【0014】そこで本発明者らは、軸受ばね特性の非線形性を弱めることに着眼し、そのためにはパッドを支持するステムを柔らかくしてステムの剛性を空気ばねの剛性に近づけるという本発明の技術的思想に着眼し、軸受の規模および容量に対してロータの質量が大きい場合に発生する危険速度通過以降の振幅増大現象を防止し、質量の大きいロータでも高速域まで安定に支えることを可能にするとともにコンパクトな軸受を実現するという目的を達成する本発明に到達した。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明（請求項1に記載の第1発明）の空気軸受は、内側に円弧状の軸受面を有するとともに外側にピボット受部を有し回転軸の周囲に配設された複数のパッドと、パッドのピボット受部に介挿される複数のピボットと、ハウジングに一体的に形成された複数のステムと、複数のピボットと複数のステムとの間に介挿された複数のバネ部材とから成るものである。

【0016】本発明（請求項2に記載の第2発明）の空気軸受は、第1発明において、前記板バネ部材を介挿したステムの剛性を空気軸受の空気ばねの剛性の10分の1から10倍の範囲内に設定したものである。

【0017】

【作用】上記構成より成る第1発明の空気軸受は、各ピボットとステムの間にバネ部材を介挿して、パッドを支持する各ステムを柔らかくして、ステムの剛性を空気ばねの剛性に近づけることによって、軸受ばね特性の非線形性を弱めるものである。

【0018】上記構成より成る第2発明の空気軸受は、板バネ部材を介挿したステムの剛性を空気ばねの剛性の10分の1から10倍の範囲内に設定したので、軸受ばね特性を線形に近づけるものである。

【0019】

【発明の効果】上記作用を奏する第1発明の空気軸受は、軸受ばね特性の非線形性が弱められているので、軸受クリアランスを越えて振動振幅が増えてもステムの剛性が急激に増加しないため、ロータの回転数が危険速度を通過したら振幅を減少させ、振幅増大現象を防止して、質量が大きいロータでも高速域まで安定に支えることを可能にするという効果を奏する。

【0020】上記作用を奏する第2発明の空気軸受は、軸受ばね特性を線形化したので、ロータの回転数が危険速度を通過したら振幅を減少させ、振幅増大現象を防止して、質量が大きいロータでも高速域まで安定に支える

4

ことを更に効果的に行うという効果を奏する。

【0021】

【実施例】次に本発明の実施例について、図面を用いて詳細に説明する。

【0022】（第1実施例）第1実施例の空気軸受は、本発明（第1および第2発明）をターボ圧縮機用のロータ・軸受系に適用したものであり、図2に示すようにロータ10がティルティングパッド式の動圧空気軸受で回転軸1の両端11、12において支持され、それより先端にインペラ13、14がそれぞれ装着され、中央のロータ10はモータ15により回転駆動される。

【0023】第1実施例の空気軸受は、内側に円弧状の非対称の軸受面21を有するとともに外側に3箇所支持するピボット受部22を有し、回転軸1の両端の周囲に配設された3個のパッド2と、パッド2のピボット受部22に介挿される球状部31を先端に有する3個のピボット3と、環状部材60のハウジング6の内周面から内方に突出形成された3個の円柱状のステム4と、ピボット3と一体に形成された一方の部分51とステム4と一体に形成された他方の部分52とが互に対向している直線部53と、直線部53の両端を接続する円弧部54と、直線部53の対向内壁に形成されたストッパ部55とから成るメガネ状板バネ部材5とから成る。

【0024】ステム4は、環状部材60のハウジング6から放射状に120度間隔で内方に突出形成され剛性Kが約100K。（ただしKは空気軸受の空気ばねの剛性）に設定されている。

【0025】メガネ状の板バネ部材5は、SKD材の板厚0.65mm板材で構成され、ステム4およびピボット3の基部から突出した直線部53の片側の長さは3mmで、円弧部54の内側の半径は1mmであり、ストッパ部間の対向間隔は100 μ mに設定されている。したがって、メガネ状の板バネ部材5すなわちステム4の長手方向の剛性Kは約285kg \cdot f/mmに設定されており、ステム自体の剛性の10分の1に相当する10Kの剛性に設定されている。

【0026】ピボット3は、先端の球状のピボット部31の直径を8mmに設定し、パッド2のピボット受部22に嵌合させるとともに、下部はメガネ状の板バネ部材の一方の部分51と一体的に形成されている。

【0027】パッド2は、ロータ10の回転方向の上流側2Bの長さに対し下流側24の長さを約2倍の長さにしてあり、軸受面21とロータ10との間に平均クリアランス5 μ mを形成するように設定されている。

【0028】ロータ10は、ステンレス材で構成されたロータ直径Dが19mmロータ重量mが例えば従来の（一般的な設計基準に基づく空気軸受のロータ重量である）0.087kg \cdot fの約9倍の0.772kg \cdot fである。

【0029】上記構成より成る第1実施例の空気軸受は、ロータが上述したように大重量であってもピボット

5

3とステム4との間にステム4自体の剛性の約10分の1に相当する10K_aの剛性に設定されたメガネ状の板バネ部材5を介挿して、ステム4の長手方向の剛性を下げて柔らかくして、図5において一点鎖線で示すようにステム4全体の剛性を空気ばねの剛性にほぼ一致させて、軸受ばね特性をほぼ線形にしたので、図4(a)において二点鎖線で示すようにロータの回転数10000r.p.m.においてピークを持つ両端の空気軸受の軸に対して平行関係を持つ回転軸1の並進ホワール(両端において同位相で振動する)の危険速度を通過させるとともにロータの回転数約16000r.p.m.においてピークを持つ両端の空気軸受の軸に対して回転軸1の軸が傾斜する円錐ホワール(両端において異なった位相で振動する)の危険速度 ω_c も通過して回転軸1の振れの振幅は回転数がさらに増加しても低いレベルで安定する。

【0030】またステム4にひずみゲージを貼って軸受のばね力を測定した結果を図5に示したが、軸受のクリアランスを越えた振幅領域でステム4自体の剛性K₁を破線で示し、空気ばねの剛性K_aに対し図中実線で示す(1/10)K_aないし10K_aの範囲に調整すれば良いが、メガネ状の板バネ部材5をピボット3とステム4との間に介挿して、本第1実施例ではほぼ空気ばねの剛性K_aに等しい一点鎖線で示すように線形化して、非線形成分を減少させたので、上述のようなロータの振動振幅と回転数の特性を実現できたのである。

【0031】すなわち図4の(b)に示すように、パッド・板バネ系の質量mに対する板バネ5の剛性K₁の比の平方根で求まる固有振動数 ω_3 を危険速度 ω_a より高くできる範囲で、できるだけ板バネの剛性K₁を小さくするパッド・板バネ系の固有振動数 ω_3 が、危険速度 ω_a より高ければロータ10の振れ回り慣性力Fにパッド・板バネ系が追従できるので、ロータ10の慣性力は板バネ5の弾性変形によって生ずる復元力(板バネの剛性K₁と弾性変形量 δ_1 との積)で受けることになる。

【0032】このとき、ステム4の板バネ剛性K₁を空気ばねの剛性K_aに近づけておけば、従来技術と異なり振幅が増しても空気軸受ばねはそれほど硬くならない

6

(図5中一点鎖線でしめす)。その結果、図4(a)において二点鎖線で示すように、危険速度 ω_a で振幅が増加しても危険速度 ω_1 までしか上がらず、ロータ10の回転数を上げれば ω_1 付近で危険速度を越して振幅を小さくすることが出来る。

【0033】ここで、危険速度を越す点 ω_1 を低くするためには、板バネ5の剛性K₁を空気ばねの剛性K_aの10倍以下にする必要がある。また上述したように、パッド・板バネ系の固有振動数 ω_3 は危険速度 ω_a よりも高くする必要があるため、板バネ5の剛性K₁は、ロータの質量とパッド・板バネ系の質量の比と空気ばねの剛性K_aの積より大きく設定しなければならない。一般にロータとパッドの質量比は10分の1から100分の1までであるので、板バネ5の剛性K₁は、空気ばねの剛性K_aの10分の1以上である必要がある。

【0034】なお、空気ばねの剛性K_aは、一般に未知であるが、ロータ10の振動を測定して危険速度 ω_a を求めることにより、危険速度 ω_a がロータの質量に対する空気ばねの剛性K_aの比の平方根で決まるので、逆算すれば求めることができる。

【0035】上記作用を奏する第1実施例の空気軸受は、ロータの並進ホワールの ω_a に相当する10000r.p.m.の危険速度を通過して、高速域まで安定して支え得ることを実現するという効果を奏する。

【0036】なお、従来のロータの質量が小さい場合のロータの質量、軸受の直径、および軸方向の軸受幅を表1のケースAに示し、ケースAについては、ロータ質量が87gであるため危険速度を越えることができる。本第1実施例の寸法でメガネ状の板バネ部材を介挿した場合をケースBに示し、板バネ部材を介挿したので上述のように危険速度を越えることができる。しかしこの第1実施例の寸法で板バネ部材を介挿しない従来技術では、ケースAとの対比から明らかなように危険速度を越えることが出来ない。従来技術により質量772gのロータにおいて危険速度を越えるためには、ケースCに示すような軸受直径および軸受幅が必要になる。

【表1】

| | ケースA | ケースB | ケースC |
|--------------|-------|----------------------------|-------------------|
| | 従来技術 | 第1実施例 | 従来技術（推定） |
| ロータ質量 | 87g | 772g | 772g |
| 軸受の直径 | 6.4mm | 19mm | 57mm (現状の3倍) |
| 軸受幅 (軸方向) | 5.8mm | 15mm | 51mm (現状の3.4倍) |
| 危険速度 | 越える | 越える (板バネ部材を除くと) 越えない | 越える |

以上から明らかなように、本第1実施例（ケースB）は、板バネ部材の介挿によりケースCに対し約3分の1以下のサイズのコンパクトな空気軸受およびロータ軸受系を実現するという実用的効果を奏する。

【0037】（第2実施例）第2実施例の空気軸受は、図6および図7に示すように上述の第1実施例における両端に配設したインペラに相当する構成要素の無い、中央にのみ大容量および大質量のロータ10を配設した回転軸1を、第1実施例よりは短いステム4でメガネ状板バネ部材5、ピボット3およびパッド2を介して支持する点が相違点で、第1実施例と同様の作用効果を奏する。

【0038】上述の実施例は、説明のために例示したもので、本発明としてはそれらに限定されるものではなく、特許請求の範囲、発明の詳細な説明および図面の記載から当業者が認識することができる本発明の技術的思想に反しない限り、変更および付加が可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例の空気軸受を示す横断面図である。

【図2】第1実施例の空気軸受を示す図1中A-A線に沿う縦断面図である。

【図3】第1実施例の空気軸受のピボット、板バネ部材およびステムを示す部分拡大図である。

【図4】（a）ロータの回転数と振動振幅との関係を示

す線図、および（b）軸受部のばね質量モデルを示す図である。

【図5】第1実施例の空気軸受の振動振幅と軸受ばねの復元力との関係を示す線図である。

【図6】本発明の第2実施例の空気軸受を示す図7のB-B線に沿う横断面図である。

【図7】第2実施例の空気軸受の図6のC-C線に沿う縦断面図である。

【図8】第1の従来の空気軸受を示す横断面図である。

【図9】第2の従来の空気軸受を示す横断面図である。

【図10】第2の従来の空気軸受を示す図9のD-D線に沿う縦断面図である。

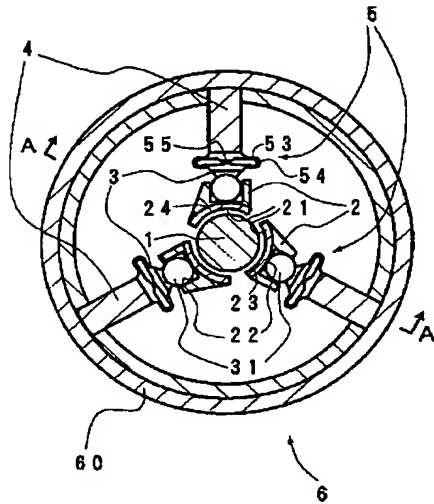
【図11】第2の従来の空気軸受の振動変位と軸受ばねの復元力を示す線図である。

【符号の説明】

- 1、R 回転軸
- 2、P パッド
- 3、PB ピボット
- 4、ST ステム
- 5 メガネ状板バネ部材
- 6 ハウジング
- 10 ロータ
- 13、14 インペラ
- 15 モータ
- 21 軸受面

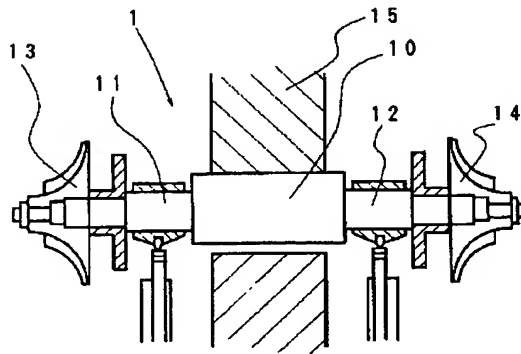
- 22 ピボット受部
31 球状部
53 直線部

【図1】



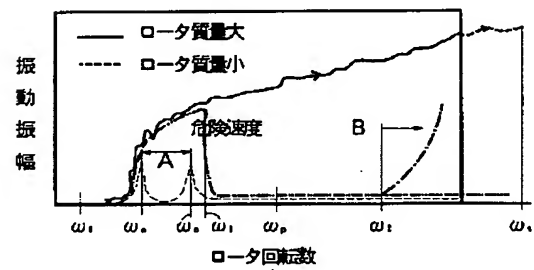
- 54 円弧部
A 弾性板状部
B パネ

【図2】

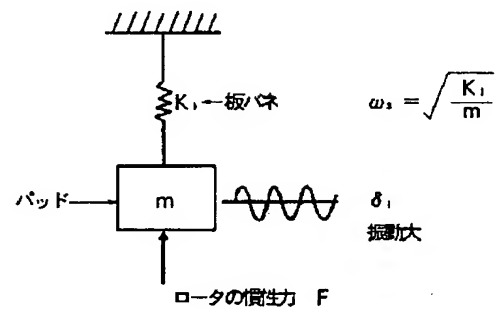


【図4】

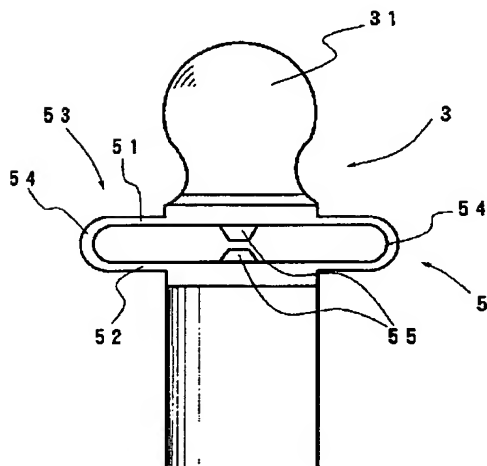
(a)



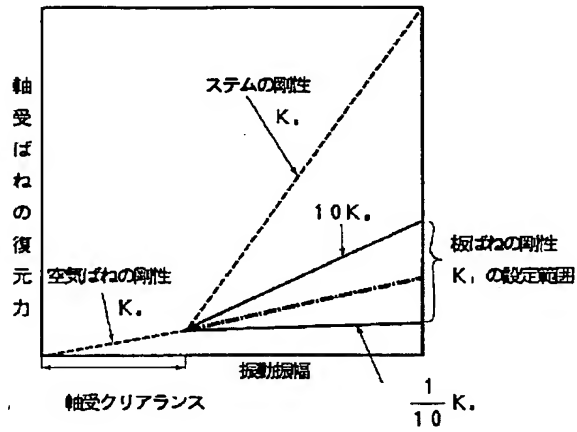
(b)



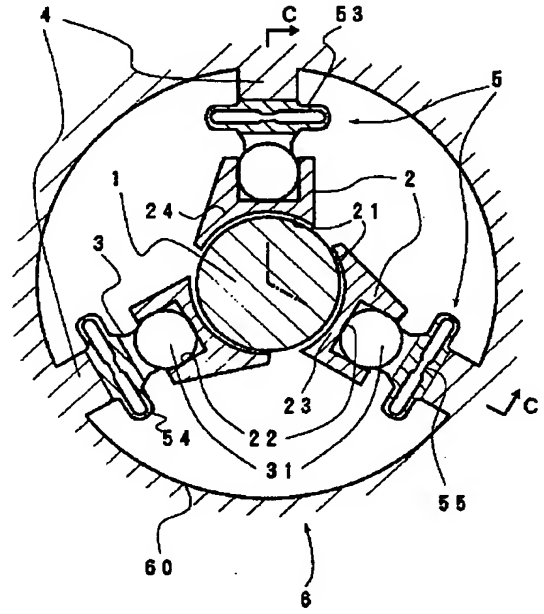
【図3】



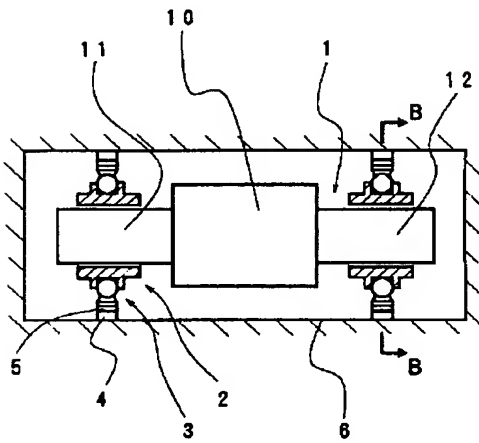
【図5】



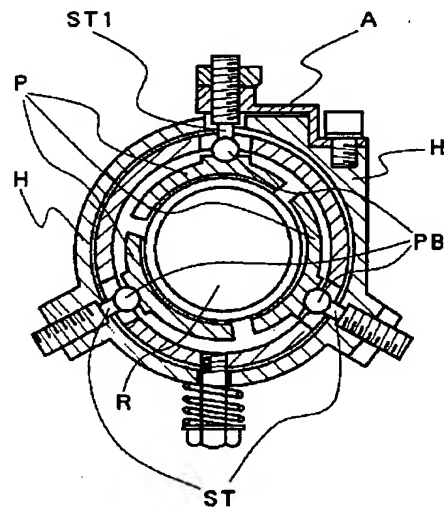
【図6】



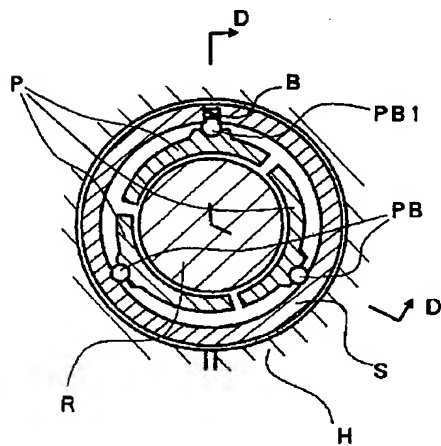
【図7】



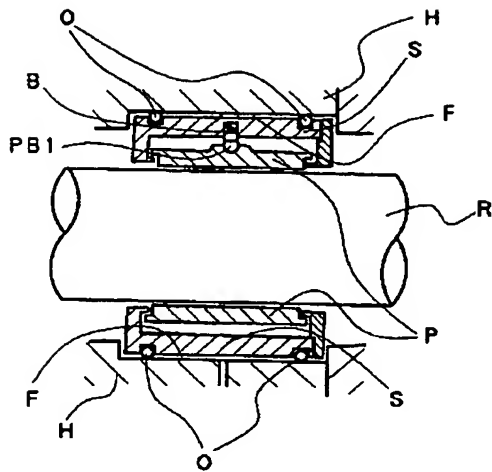
【図8】



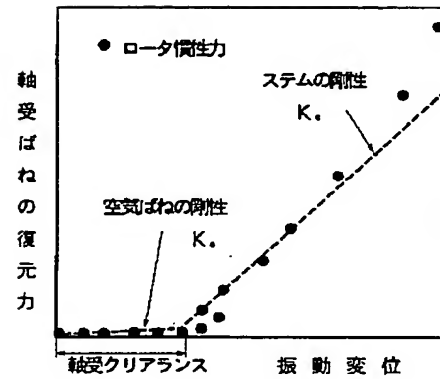
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(72)発明者 ▲吉▼川 和男

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72)発明者 三田 英夫

愛知県刈谷市朝日町二丁目一番地 アイシ
ン精機株式会社内

(72)発明者 石田 幸男

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字根ノ神45
番地の1